

高等工业学校教学用书

特种铸造

管纪刚 主编

清华大学出版社

前 言

本书是根据全国高等工业学校铸造专业教材分编审委员会扩大会议审定的《特种铸造》教学大纲编写的。

根据高等工业学校铸造专业教学计划,《特种铸造》为工艺性专业课程,主要介绍不同于砂型铸造、并与其有较大区别的常用特种铸造方法的实质、原理和工艺特点,对工艺装备和工艺过程所使用的主要设备的基本知识也作必要的叙述,使学生初步掌握或了解几种常用的特种铸造方法,目的是培养学生在制定具体铸件的工艺过程时,思路能够比较开阔。除此之外,也为进一步改进现有的和研究新的铸造方法打下初步基础。

任何一种铸造方法的出现,都是基于社会生产发展的需要。因此,随着科学技术的发展,不断出现了一些新的铸造工艺,如实型铸造、真空铸造、磁型铸造以及早已出现的壳型铸造、石膏型铸造、石墨型铸造等等。考虑到这些铸造方法中,在造型材料、液体金属的充填和凝固过程等方面与砂型铸造大致相同,可视为砂型铸造的新发展。因此,本课程所要讲述的是一些发展至今已基本成熟的,且在生产某些类型的铸件上已显示出具有独特的优越性,因而得到广泛应用的铸造方法,它们是:熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、陶瓷型铸造、低压铸造、液体金属冲压、连续铸造、真空吸铸等。

本书为高等工业学校铸造专业的教学用书,也可供有关科技人员参考。

本书由浙江大学曾昭昭同志主编并编写绪论、第一、三章和第五章中第一、二、三节，哈尔滨工业大学林伯年同志编写其余章节。本书由东北工学院宫克强同志主审。

由于我们水平所限，书中不妥和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

绪 论

铸造是一种液态金属成型的方法。在各种铸造方法中，用得最普遍的是砂型铸造，这是因为砂型铸造，不仅铸件生产批量的大小，而且铸件的形状、尺寸、重量及合金种类等几乎都不受限制。

随着科学技术的不断发展和生产水平的不断提高以及人类社会生活的需要，对铸造生产提出了一系列新的、更高的要求，归纳起来，主要有如下三个方面：

1. 要求大量生产同类型、高质量而且稳定的铸件，进一步提高铸件的表面光洁程度、尺寸精度以及内在质量和机械性能；
2. 进一步简化生产工艺过程，缩短生产周期，便于实现生产工艺过程机械化、自动化，提高劳动生产率，改善劳动条件；
3. 减少生产原材料的消耗，降低生产成本。

为了适应上述的要求，近几十年来，铸造工作者在继承、发展古代铸造技术和应用近代科学技术成就的基础上，发明了许多新的铸造方法，为了有别于普通砂型铸造，人们把这些新的铸造方法统称为“特种铸造”。最常见的有：

1. 熔模铸造
2. 金属型铸造
3. 压力铸造
4. 离心铸造

5. 陶瓷型铸造
6. 低压铸造
7. 液体金属冲压
8. 真空吸铸
9. 连续铸造, 等等

与普通砂型铸造比较, 其基本特点可概括为:

1. 改变铸型的制造工艺或材料

熔模铸造及壳型铸造, 由于所用的铸模及粘结剂不同, 其制造型壳的工艺也不同。前者制造型壳时无需起模, 故也无分型面; 后者在制造型壳时是硬化后起模。两者制造的均为薄壳铸型(型壳厚度最大在10mm左右)。

又如在熔模铸造及陶瓷型铸造中, 常采用耐火高度、高温下化学稳定性和尺寸稳定性好的耐火材料, 例如用以电熔刚玉(Al_2O_3)或莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)为主要相组成的铝—硅系耐火材料作为制型的颗粒材料。

金属型铸造或压力铸造, 其铸型则用金属材料制成。

制型工艺或材料的改进, 一方面提高了铸件的尺寸精度和表面光洁程度, 达到少切削甚至无切削加工。例如生产汽轮机增压器的动、静叶片, 原来是用2Cr13圆钢铣制, 改用熔模铸件后, 每台可节约钢材100kg, 节省加工工时1800h; 在压铸生产中, 有些压铸件不必经过机械加工就可直接装配使用; 另一方面, 在制造铸型时, 又可实现少用砂或不用砂。

2. 改善液体金属充填铸型及随后的冷凝条件。

在普通砂型铸造中, 液体金属的浇注及随后在铸型中冷凝过程都是在重力作用下完成的。而在一些特种铸造方法中, 有的是在离心力(离心铸造)或压力(如压力铸造及低压铸造)作用下完成的。当采用导热性及蓄热性高的金属铸型时, 对液体金属有强烈的激冷作用。

因此，应用特种铸造方法，不仅有利于改善铸件的外部质量，而且也有利于提高铸件的内部质量，减少或消除铸件的内部缺陷（如缩孔、缩松等），使铸件的组织致密，结晶细，从而提高了铸件的机械性能。例如，离心铸钢管的机械性能可以与锻钢件相媲美；又如，与砂型铸造相比，采用金属型铸造，铸件的结晶组织致密，强度、硬度、延伸率、耐磨性和耐腐蚀性都有所提高。

以上两个方面的基本特点是从特种铸造整体来看的，至于对某一具体方法，有的则只具有某一方面的特点，例如金属型铸造及陶瓷型铸造，它们只是制型材料或制型工艺的改变，而液体金属的充填及冷凝过程仍然是在重力作用下完成的。但是，有的方法则两个方面的特点都具备，如压力铸造及采用金属型或熔模型壳的低压铸造或离心浇注。

综上所述，给了我们这样一个重要的启示，即从铸造工艺角度来看，铸件的尺寸精度及表面粗糙度主要取决于铸型的质量。因此，为了提高铸件的外部质量，应从改进铸型材料或制型工艺入手，而为了提高铸件的内部质量，则主要依靠改善液体金属充填及随后冷凝的条件。当然，改善液体金属的充填条件，提高液体金属的充型能力，也有利于改善铸件的表面粗糙度及尺寸精度。

事实证明，许多新的铸造方法的出现，都是由此而产生。

与砂型铸造比较，特种铸造有如下的一些优点：

- (1) 铸件的尺寸精度和表面光洁程度较高，从而易实现少切削或无切削加工；
- (2) 铸件的内部质量和机械性能较好；
- (3) 降低了金属消耗和铸件的废品率；
- (4) 制型时不用砂或少用砂，简化了铸造生产工序（除熔模铸造外），便于实现生产过程机械化、自动化；

(5) 改善劳动条件，提高劳动生产率。

正是由于特种铸造方法有着上述的一些优点，因此得到了日益广泛的应用。但是也应看到，每一种铸造方法都有其本身的特点，也存在着一些缺点，其应用场合有一定的局限性，例如：

从铸件的结构特点（轮廓尺寸及壁厚的大小和形状的复杂程度等）来看，大多数特种铸造方法适宜于生产重量不大的中、小型铸件。金属型铸造不宜用于生产形状复杂的薄壁铸件，而压力铸造则适宜；离心铸造原则上只适宜于生产空心旋转体铸件（如管子、套筒等）。

从铸件的合金种类来看，金属型铸造、压力铸造及液体金属冲压等，最适宜于有色合金铸件；熔模铸造及陶瓷型铸造最适宜于生产各种钢铸件。

从铸件的生产批量来看，除陶瓷型铸造外，由于特种铸造方法生产准备周期长，工艺装备成本高，或者是需要采用专用的机械设备，所以通常适用于成批或大量生产。

各种常用铸造方法的适用范围列于表0-1。

思 考 问 题

1. 特种铸造的基本特点是什么？对铸件生产有些什么影响？
 2. 了解特种铸造的基本特点对采用和发展特种铸造方法有什么实际意义？
 3. 特种铸造能否取代普通砂型铸造？为什么？
- （以上问题在学完本课程后，请再作一次回顾和思考）

目 录

绪论	1
思考问题	5
第一章 熔模铸造	1
概述	1
§1-1 熔模的制造	5
一、 模料	5
二、 模料的配制与回收	15
三、 熔模的制造和组装	20
§1-2 型壳的制造	24
一、 制壳用耐火材料	25
二、 制壳用粘结剂	33
三、 制壳工艺	45
§1-3 熔模铸件的浇注和清理	52
一、 熔模铸件的浇注	52
二、 熔模铸造中几种特殊的浇注和凝固方式	54
三、 熔模铸件的清理	56
§1-4 熔模铸件的工艺设计	60
一、 铸件结构工艺性分析	60
二、 浇冒口系统的设计	63
§1-5 压型的结构与制造	69
一、 压型的基本结构	69

二、	易熔合金、石膏、橡胶压型的制造·····	73
三、	压型型腔和型芯的尺寸和表面粗糙度的确定·····	77
	思考问题·····	81

第二章 金属型铸造·····83

概述·····83

§2-1 金属型铸件的成型特点·····86

- 一、由金属型材料的导热性能所引起的铸件成型特点····· 87
- 二、由金属型材料无退让性所引起的铸件凝固收缩特点····· 91
- 三、由金属型材料无透气性所引起的铸件成型特点····· 92

§2-2 金属型设计·····94

- 一、金属型的结构型式····· 94
- 二、金属型型腔的设计····· 96
- 三、型芯的设计····· 101
- 四、排气系统的设计····· 106
- 五、金属型半型间的定位····· 103
- 六、金属型的锁紧机构····· 108
- 七、顶出铸件机构····· 110
- 八、金属型的加热和冷却装置····· 113
- 九、金属型的破坏原因····· 115
- 十、金属型的材料····· 113

§2-3 金属型铸造工艺·····119

- 一、浇注补缩系统的设计····· 119
- 二、涂料····· 123
- 三、金属型的工作温度····· 126
- 四、合金的浇注温度····· 126

五、	覆砂金属型铸造	127
	思考问题	128
第三章	压力铸造	129
概述		129
一、	压力铸造的实质	129
二、	压力铸造的优缺点	130
三、	压力铸造的发展概况及应用范围	131
§3-1	压铸过程原理	133
一、	压力的作用	133
二、	压铸速度	136
三、	充型过程的理论	137
§3-2	压铸工艺	140
一、	压铸比压和充填速度的选择	141
二、	压铸的温度规范	142
三、	充填、持压及铸件在压型中停留的时间	145
四、	压铸用涂料	146
五、	压铸件的清理	148
§3-3	压铸型的设计	149
一、	压铸件的结构工艺性	149
二、	压铸件的工艺设计	152
三、	压铸型的结构	162
四、	成型部分尺寸的确定	163
五、	抽芯机构	166
六、	铸件的顶出机构	172
七、	压铸型的材料	174
§3-4	压铸机	179
一、	压铸机的种类	176
二、	压铸机的主要机构	180
三、	压铸机的选用	184

思考问题	188
------	-----

第四章 离心铸造 189

概述	189
----	-----

§4-1 在离心力场中铸件的成型特点	191
--------------------	-----

一、离心力场	191
--------	-----

二、离心力场中液体金属自由表面的形状	193
--------------------	-----

三、离心压力	200
--------	-----

四、液体金属中异相质点的径向运动	202
------------------	-----

五、离心力场中铸件凝固时的补缩特点	204
-------------------	-----

§4-2 离心铸件在液体金属相对运动影响下的凝固特点	205
----------------------------	-----

一、离心铸型横断面上液体金属的相对运动及其对铸件结晶的影响	206
-------------------------------	-----

二、离心铸型纵断面上液体金属的相对运动及其对铸件结晶的影响	210
-------------------------------	-----

§4-3 离心铸造机	212
------------	-----

一、立式离心铸造机	212
-----------	-----

二、卧式离心铸造机	215
-----------	-----

§4-4 离心铸造工艺	217
-------------	-----

一、铸型转速的选择	217
-----------	-----

二、离心铸造用的铸型	221
------------	-----

三、离心浇注	225
--------	-----

四、几种离心铸件的铸造工艺	227
---------------	-----

思考问题	234
------	-----

第五章 其它特种铸造方法 236

§5-1 陶瓷型铸造	236
------------	-----

一、陶瓷型铸造的实质、特点及应用范围	236
--------------------	-----

二、陶瓷型铸造工艺	240
-----------	-----

§5-2	低压铸造	246
一、	低压铸造的实质、特点及应用范围.....	246
二、	低压铸造工艺.....	248
§5-3	液体金属冲压	255
一、	液体金属冲压的实质、特点及应用范围.....	255
二、	液体金属冲压工艺.....	257
§5-4	连续铸造	261
一、	连续铸造的实质、特点及应用范围.....	261
二、	连续铸锭的工艺特点.....	262
三、	连续铸管的工艺特点.....	265
§5-5	真空吸铸	267
一、	真空吸铸的实质、特点及应用范围.....	268
二、	真空吸铸的优缺点.....	269
思考问题		270
主要参考文献		271

Rongmo zhuzao

第 I 章

熔模铸造

概 述

熔模铸造的实质就是在蜡模表面涂覆多层耐火材料，待硬化干燥后，加热将蜡模熔去，而获得具有与蜡模形状相应空腔的型壳，再经焙烧之后进行浇注而获得铸件的一种方法，故又称失蜡铸造。

随着生产技术水平不断提高，新的蜡模工艺不断出现，以及可供制模材料的品种日益增多，现在去模的方法已不再限于熔化，而模也不限于蜡模，也可用塑料模，但因习惯的原因，仍沿用原来名称。由于用这种方法获得的铸件具有较高的尺寸精度和表面光洁程度，故又有熔模精密铸造之称。

熔模铸造的基本特点是制壳时采用可熔化的一次模，因无需起模，故型壳为整体而无分型面，且型壳是由高温性能优良的耐火材料制成，因此，用熔模铸造生产的铸件，其尺寸精度可达HBO—7—67的ZJ3~ZJ2，表面粗糙度为GB1031—83的 $\nabla 6.3$ ，所以可减少或无需机械加工。

用熔模铸造可生产形状复杂的铸件,最小壁厚为0.3mm,铸出孔的最小直径为0.5mm。生产中有时可将一些由几个零件组合而成的部件,通过改变结构成为整体,直接用熔模铸造而成。这样可节省加工工时和金属材料消耗,并使零件结构更加合理,如图1-1所示。

用熔模铸造生产铸件的重量一般由几十克至几千克。太重的铸件因受到制模材料性能的限制和制壳时存在一定的困难而不宜采用这种方法。据资料介绍,目前可生产重量达80kg的熔模铸件。

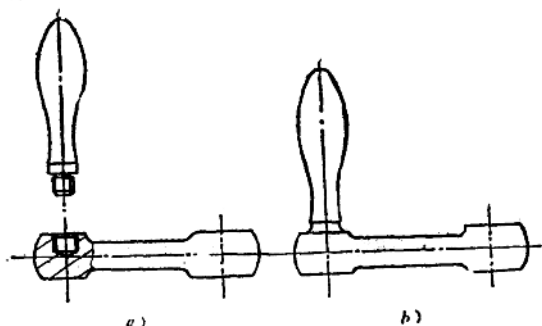


图1-1 机加工组合改成熔模铸件
a) 机加工组合件 b) 熔模铸件

用熔模铸造生产的铸件,不受合金种类的限制,尤其是对难以切削加工或锻压加工的合金,更能显示出它的优越性。

但是,熔模铸造生产也存在一些缺点,主要是工序繁多,生产周期长,工艺过程复杂,影响铸件质量的因素多,必须严格控制才能稳定生产。

熔模铸造生产工艺流程如图1-2所示。

熔模铸造是一种古老的铸造工艺,在我国已有2000多年的历史,是最早掌握这一工艺的国家之一。早在唐代的文献资料

中就已有记载，明代宋应星所著《天工开物》一书则有详细的描述。1978年湖北随县曾侯乙墓出土我国最早期（距今2400多

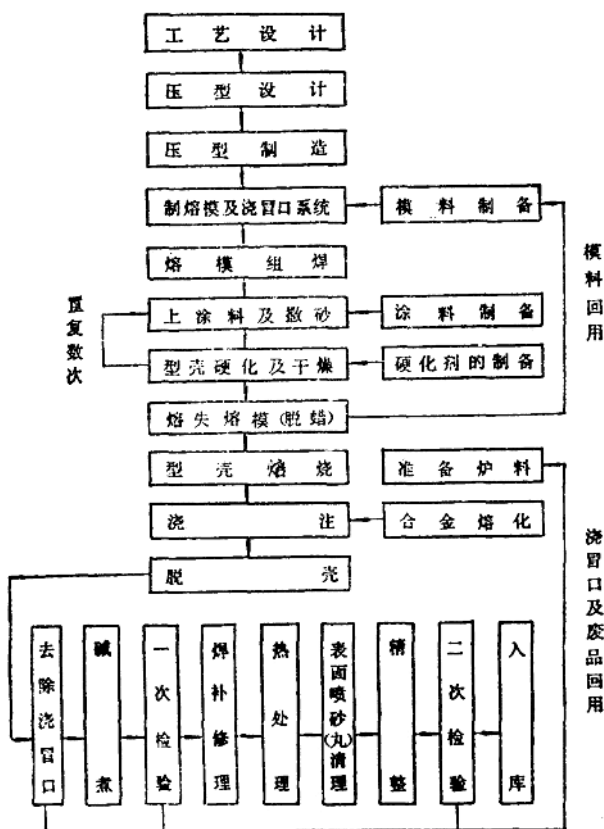


图1-2 熔模铸造工艺流程图

年)的青铜器熔模铸件,其中如青铜尊,它的沿口饰有精巧的蟠螭形的镂空花纹,底部和腹部各有四条浮雕龙,颈部有向上作爬动状的四兽,造型庄严奇特,极为精致。从这些古代艺术珍品中可以看出,当时熔模铸造技术水平已是相当成熟。之后,又在河南淅川楚墓出土铜禁等一些熔模铸件,其制造年代要比随县出土的早120多年。由此可以推断,熔模铸造在我国最少也有2500~2600年的历史。

现代的熔模铸造工艺是在本世纪40年代初期形成的,当时由于机械制造及军事工业生产需要精密铸钢件,尤其是制造飞机发动机的叶片、叶轮及喷嘴等形状复杂、尺寸精度及表面光洁程度要求很高的耐热钢铸件,以及由于新型粘结剂硅酸乙酯水解液和优质耐火材料的出现,从此,熔模铸造才开始在工业生产中得到实际应用。

熔模铸造由于有着一系列的优点,因而其发展速度很快。多层型的广泛采用及生产过程的机械化、自动化,使生产周期缩短,材料消耗减少,生产成本降低,劳动条件改善;陶瓷型芯及可熔型芯的采用,使铸件形状更不受限制;新的模料及制壳原材料的研制及开发,真空熔铸,表面孕育细化晶粒,定向结晶及热等静压等新工艺、新技术的应用,更有利于进一步提高和保证熔模铸件的质量,扩大其应用范围。

应当指出的是,近年来国外开始采用石膏熔模铸造铝合金铸件,这一工艺的出现已引起国际上普遍重视,不少国家已积极研究发展这项技术,并认为这一工艺开创了获得复杂、精密铝合金铸件的新时代。据报导,这种方法显著的特点是将石膏混合料浆浇注一次成型,不需要多次涂挂,由于料浆复制性好,导热性低,因此,用这种方法可生产出壁厚 $0.8 \sim 1.5\text{mm}$,尺寸偏差 $\pm 0.2\text{mm}$ (公称尺寸小于 25mm 时),表面粗糙度为 $R_{a} 3.2 \sim 1.6$,重量 $0.454 \sim 908\text{kg}$,余量很小甚至不加工即可装